

## Horizontal/vertikal differenziertes Bündelungsmaß elektroakustischer Wandler

H. Wollherr\*, S. Goossens\*, K.D. Ruth\*\*, H.Fastl\*\*

\*Institut f. Rundfunktechnik, München, \*\* Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

Selbst bei Aufstellung eines Lautsprechers im Freien ist es sehr unwahrscheinlich, daß die Schallwellen ausschließlich auf direkten Wege zum Zuhörer gelangen. Auch Mikrofone werden normalerweise aus mehreren Richtungen von Teilwellen getroffen. Noch deutlicher wird das in geschlossenen Räumen, in denen in Abständen, die größer als deren Hallradien sind (korrigiert mit den Richtcharakteristiken der Wandler), der indirekt zum Mikrofon oder Hörer gelangende Schalleistungsanteil sogar überwiegt.

### Globales Bündelungsmaß

Wenn von elektroakustischen Wandlern Übertragungsfunktionen angegeben werden, beziehen diese sich aber fast immer nur auf eine einzige als Hauptachse definierte Richtung. Das hat zwar eine gewisse Berechtigung, falls im Anwendungsfall die Hauptachse mit der Ausbreitungsrichtung des Direktschalls zusammentrifft, denn die zuerst eintreffende Schallwelle hat nicht nur für den Richtungseindruck eine besondere Bedeutung, sondern auch für die empfundene Klangfarbe. Dennoch dürfen die indirekt eintreffenden Anteile nicht vernachlässigt werden, da nur sie die akustischen Raumeigenschaften einbinden können. Das wird durch die Erfahrung belegt, daß z.B. ein schlechter Lautsprecher nicht durch elektronisches „Begradien“ des Direktschallübertragungsmaßes entscheidend verbessert werden kann, weil mit den elektronischen Maßnahmen außerhalb der Hauptachse auffällige spektrale Verzerrungen entstehen.

Deshalb ist in der alten DIN 45573 ein Diffusfeldübertragungsmaß definiert, das das räumliche Integral der abgestrahlten bzw. aufgenommenen Leistung beinhaltet. Um die frequenzabhängige Kurve des in einem Meßabstand  $r_m$  auf der Hauptachse gemessenen Direktfeldübertragungsmaßes unmittelbar vergleichen zu können, wird die Gesamtleistung auf einen Diffusfeldpegel in einem Hallraum mit dem konstanten Hallradius  $r_H = r_m$  umgerechnet. Diese Definition ist zwar anschaulich, ist aber keineswegs die Näherung für reale Raumsituationen. Weder haben Wohnräume eine frequenzunabhängige Nachhallzeit, noch ist es für natürliche Quellen typisch, bei allen Frequenzen nach allen Richtungen gleichermaßen abzustrahlen. Es ist also nicht durch die Definition vorgegeben, welchen Verlauf das Diffusfeldübertragungsmaß haben soll. Im Ausschlußverfahren kann angegeben werden, welcher Verlauf bei frequenzunabhängigem Direktfeldübertragungsmaß unerwünscht ist: ein mit der Frequenz steigender Verlauf und ein abschnittsweise Absinken und Ansteigen.

Eine gemeinsame Veränderung der beiden Übertragungsmaße durch elektrische Filter ist möglich, nicht jedoch eine Veränderung des Verhältnisses von Direkt- zu Diffusfeld, das sich im Abstand der beiden Kurven, dem Bündelungsmaß, ausdrückt. Das Bündelungsmaß kann nur durch Veränderung des Abstrahlverhaltens, z.B. durch Positionierung einzelner Teilbereichslautsprecher und Schallführungen beeinflusst werden und stellt insgesamt ein wesentliches Qualitätsmerkmal für Schallwandler dar.

### Richtungsabhängige Bündelung

Dabei muß beachtet werden, daß das Bündelungsmaß alle Raumrichtungen außerhalb der Hauptachse gleichmäßig erfährt, also keinen Unterschied zwischen oben/unten und links/rechts ausdrücken kann. Das ist auch zulässig, sofern es nur um den Unterschied des Direktschalls und des späten Diffusfalls geht. In dem zeitlichen Bereich dazwischen können jedoch in Räumen ausgeprägte Reflexionen eingekoppelt werden, je nachdem, ob bestimmte Frequenzen genau in dieser Richtung durch Interferenzeinflüsse besonders ausgeprägt oder unterdrückt sind. Dafür wäre die Kenntnis dreidimensionaler Abstrahl- (Empfindlichkeits-) Diagramme („Richtungsgel“) erforderlich. Diese hätten jedoch nur für den jeweiligen Einzelfall Bedeutung, wären in ihrer Informationsvielfalt auch kaum überschaubar.

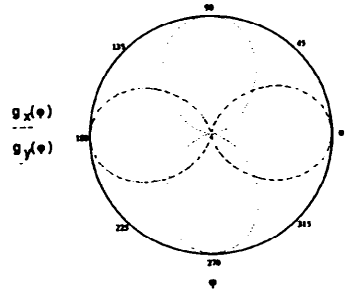
In seinem Vortrag auf der DAGA 96 hat Ringlsetter jedoch auf ein Phänomen aufmerksam gemacht, das mit der Tatsache zusammenhängt, daß die menschlichen Ohren auf einer zum Horizont parallelen Achse angeordnet sind: Reflexionen aus der Horizontalebene werden stärker eingebunden, anders wahrgenommen, als solche aus dazu senkrechten Richtungen.

Um die überschaubare frequenzabhängige Darstellung des Bündelungsmaßes nicht gänzlich gegen die Datenfülle einer Vielzahl von räumlichen

Verteilungen für alle Frequenzen einzutauschen, soll deshalb der Versuch unternommen werden, das globale Bündelungsmaß durch Kurven zu ergänzen, die sich jeweils auf die Richtungen beziehen, die hinsichtlich ihrer Auswirkungen als qualitativ unterschiedlich erkannt worden sind.

### x - y - Bündelungsmaße

Zu diesem Zweck werden bei der Integration der Leistungsdichten unter den verschiedenen Richtungen Gewichtsfunktionen eingeführt, die den Winkelabstand  $\phi$  der betrachteten Ausbreitungsrichtung von der Horizontalebene berücksichtigen. Eine Funktion  $g_x = \cos^2 \phi$  bewertet bevorzugt die Horizontalebene-nahen Anteile, eine Funktion  $g_y = \sin^2 \phi$  liefert die ergänzenden Werte, die den dazu senkrechten Richtungen zuzuordnen

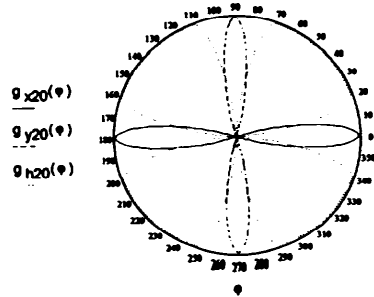


Horizontale und vertikale Gewichtsfunktionen

sind. Die auf der Bezugsachse ermittelte Leistungsdichte wird auf die mit Hilfe der Gewichtsfunktionen bestimmten mittleren Leistungsdichten bezogen, logarithmiert und mit 10 multipliziert. Es entstehen daraus zwei Bündelungsmaße („x- und y-Bündelungsmaße“), die sich im rotations-symmetrischen Fall gleichen. Da die Summe der Gewichtsfunktionen für jeden Winkel = 1, lassen sich die richtungsbezogenen Bündelungsmaße rechnerisch zu dem alle Richtungen umfassenden Bündelungsmaß eindeutig zusammenfassen.

Das beschriebene Verfahren erfährt einen relativ großen Bereich des Erhebungswinkels zwischen +45° und -45° über der Horizontalebene.

### Flächenorientierte Bündelungsmaße



20° - Gewichtsfunktionen (plus Ergänzung)

Bei linienförmig verteilten Schallwandlern kann die Schallenergie jedoch auf einen viel kleineren Bereich der Erhebungswinkel konzentriert sein, wobei in dieser „Schicht“ wiederum die horizontale Verteilung interessiert. Für diesen Fall ist es sinnvoll, Gewichtsfunktionen zu definieren, die sich z.B. auf 20° breite Bereiche konzentrieren. Um die Möglichkeit zur Zusammenfassung zum globalen Bündelungsmaß zu schaffen, wird eine ergänzende Gewichtsfunktion zur Überbrückung zwischen den erfaßten 20°-Bereichen benötigt. Gegenüber einer Beschränkung

ausschließlich auf die Horizontal- und die die Hauptachse enthaltende Vertikalebene besteht der Vorteil, daß das zufällige (und kaum hörrelevante) Zusammenfallen der Meßebene mit einer Nullstellenebene einer Strahler- bzw. Empfängeranordnung vermieden wird.

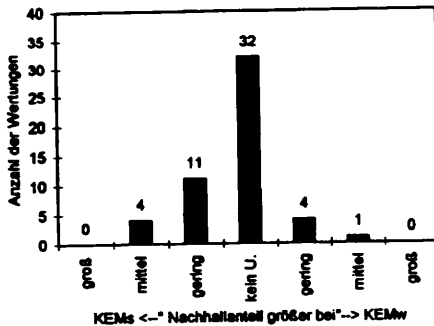
### Meßtechnik

Das bisher übliche Bündelungsmaß konnte entweder im Hallraum im Vergleich mit Direktfeldmessungen im reflexionsarmen Raum bestimmt werden, oder durch räumliche Abtastung der Abstrahl/Empfangs-Richtungen im reflexionsarmen Raum allein. Letzteres war bis vor wenigen Jahren wegen des großen Rechenaufwandes auf rotations-symmetrische, wenig aufgezipfelte Richtcharakteristiken - also insbesondere auf tiefe Frequenzen - beschränkt. Bei tiefen Frequenzen allerdings war das Hallraumverfahren sehr unzuverlässig.

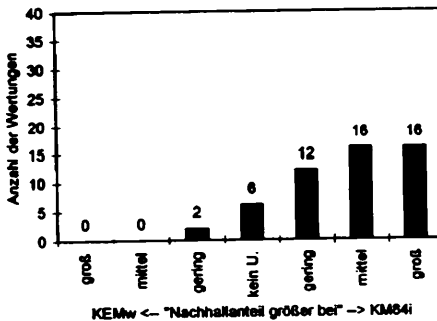
Heute bereitet die rechnerische Verarbeitung großer Datenmengen kaum noch besondere Schwierigkeiten. Deshalb ist auch bei der Ermittlung des globalen Bündelungsmaßes die Verwendung eines Hallraumes eher die Ausnahme. Je nach gewünschter Winkelaufösung werden auf einer Kugel- fläche um den Wandler herum entsprechend viele Punkte abgetastet, an denen jeweils komplette Hörfrequenzspektren abgespeichert werden. Dennoch stellt die Zusammenfassung auch unter Einbeziehung richtungsabhängiger Gewichtsfunktionen kein Problem dar.

### Hörtests

Um die Bedeutung der Angabe richtungsbezogener Bündelungsmaße zu untersuchen, wurden Hörtests unter Verwendung eines Mikrofons mit einer rotations-symmetrischen Kardioidcharakteristik (Neumann KM 84i) und eines IRT-Labormusters eines Kardioid-Ebenen-Mikrofons KEM in unterschiedlichen Ausrichtungen durchgeführt.



„Nachhall“ beim KEM in verschiedenen Ausrichtungen



„Nachhall“ beim KEM, verglichen mit KM 84

Wurde die Frage gezielt nach dem „Nachhallanteil“ in der Aufnahme gestellt, ergab sich wegen des identischen globalen Bündelungsmaßes des

Paar-Nr	Aufnahme 1	Einfluß d. Reflexion	Aufnahme 2	Einfluß d. Reflexion
1	fmKEMsIRT	gering	fmKEMwIRT	groß
2	mkEMsIRT	gering	mkEMwIRT	groß
3	fmKEMsIRT	gering	fmKM84IRT	groß
4	mkEMsIRT	gering	mkM84IRT	groß
5	fmKEMwIRT	groß	fmKM84IRT	groß
6	mkEMwIRT	groß	mkM84IRT	groß
7	fmKEMsTU	gering	fmKEMwTU	groß
8	mkEMsTU	gering	mkEMwTU	groß

Unterschiedliche Einbindung von Reflexionen

senkrecht und waagrecht betriebenen KEM für diesen Vergleich kein Unterschied, während sich das insgesamt geringere globale Bündelungsmaß des KM84 in einem höheren „Nachhallanteil“ auswirkte.

Bei Reflexionen, die dem Direktschall unmittelbar folgen, entsteht eine Klangverfärbung des Signales, ein Effekt, der bei Einsatz des KEM mit gezielter Ausschaltung der störenden Reflexionsrichtungen deutlich verringert werden konnte.

### Zusammenfassung

Die nach den Hauptrichtungen differenzierte Angabe von Bündelungsmaßen gibt also bei derartigen von der Rotationssymmetrie abweichenden Wandlern Hinweise für die Aufstellung bzw. Anbringung bei Kenntnis kritischer Raumwinkelbereiche.

Sind die bisherigen Erweiterungsversuche der Meßauswertungen zur Bestimmung des Bündelungsmaßes insbesondere für nicht-rotationssymmetrische Richtcharakteristiken nützlich, so können in Arbeit befindliche Weiterentwicklungen der Meß- und Auswertetechnik auch für alle anderen Ausbildungen der Richtungsverteilung Grundlage für verbesserte Qualitätsbeurteilungen werden.

Lit.:

Wollherr:

„Lautsprecher und ihre Beurteilung“

Fortschritte der Akustik DAGA 85

DIN 45573 Teil 3:

„Lautsprecher-Prüfverfahren im Diffusfeld“

S.Ringlstetter, S. Goossens, H. Wollherr, H. Fastl:

„Untersuchungen zum Bündelungsmaß von Lautsprechern“

Fortschritte der Akustik DAGA 96

K. Ruth:

„Richtungsbezogene Bündelungsmaße von Schallwandlern“

Diplomarbeit TU München 1996